

000205755



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Patentschrift  
10 DE 198 45 042 C 2

21 Aktenzeichen: 198 45 042.7-35  
22 Anmeldetag: 30. 9. 1998  
43 Offenlegungstag: 20. 4. 2000  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 24. 8. 2000

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
G 01 R 31/00  
G 01 R 31/02  
H 02 N 2/00  
F 02 M 51/06  
B 60 K 26/00  
B 60 K 28/10

DE 198 45 042 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:  
Siemens AG, 80333 München, DE

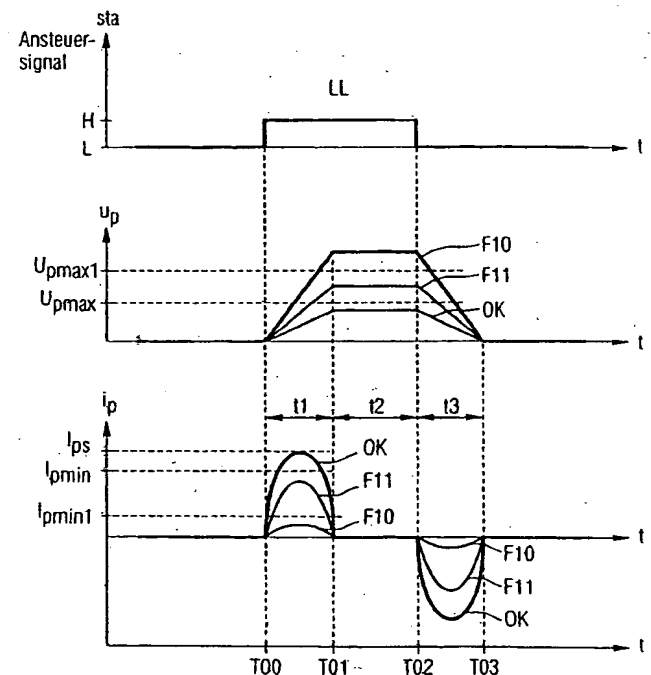
72 Erfinder:  
Gerken, Hartmut, 93152 Nittendorf, DE; Hoffmann,  
Christian, Dr., 93057 Regensburg, DE; Freudenberg,  
Hellmut, 93080 Pentling, DE; Pirkel, Richard, 93053  
Regensburg, DE; Hecker, Martin, 93053  
Regensburg, DE; Schrod, Walter, 93057  
Regensburg, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 196 44 521 A1  
DE 195 26 435 A1  
DE 37 20 089 A1

54 Verfahren und Anordnung zur Diagnose eines kapazitiven Aktors

57 Verfahren zur Diagnose eines kapazitiven Aktors (Pm) und einer dazugehörigen Ansteuerschaltung, wobei auf den Aktor (Pm) von einem Ladekondensator (C) über eine Umschwingspule (Lk) eine vorgebbare Energie übertragen wird, aus der Abweichung der ermittelten Größen  
- Aktorspannung (up) und  
- Aktorstrom (ip)  
von Bezugswerten (Upmin, Upmax, Upmax1, Upmaxp, Ipmmin, Ipmmax, Ipmmin1, Qmin, Qmax) auf den Funktionszustand (OK, F10, F11, F2, F31) des Aktors (Pm) oder der dazugehörigen Ansteuerschaltung geschlossen wird, bei einer den unteren Spannungswert (Upmin) unterschreitenden Aktorspannung (up) auf einen Kurzschluß (F30) der elektrischen Verbindung innerhalb des Aktors (Pm) oder zwischen der Ansteuerschaltung und dem Aktor (Pm) geschlossen wird, und bei einem einen weiteren unteren Stromwert (Ipmmin1) unterschreitenden Aktorscheitelstrom (Ips) auf eine Unterbrechung (F10) der elektrischen Verbindung innerhalb des Aktors (Pm) oder zwischen der Ansteuerschaltung und dem Aktor (Pm) geschlossen wird.



DE 198 45 042 C 2

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Diagnose eines kapazitiven Aktors und einer dazugehörigen Ansteuerschaltung, insbesondere eines piezoelektrischen Aktors für ein Kraftstoffeinspritzventil, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und eine Anordnung zur Durchführung des Verfahrens gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 19.

Ein Verfahren zum Ansteuern eines Aktors ist in DE 196 44 521 A1 beschrieben. Danach wird einem kapazitiven Aktor eine vorgebbare Energie zugeführt, indem ein auf einen Anfangsspannungswert geladener Ladekondensator über eine Umschwingungspule solange auf den Aktor umgeladen wird, bis der Ladekondensator einen vorgebbaren Endspannungswert erreicht hat. Die auf den Aktor übertragene Energie wird von der Spannungsdifferenz zwischen Anfangsspannungswert und Endspannungswert bestimmt. Alternativ werden der dem Aktor zugeführte Aktorstrom und die am Aktor anliegende Aktorspannung multipliziert, das Produkt integriert und der Integralwert mit einem vorgebbaren Sollwert verglichen. Der Umladevorgang wird abgebrochen, wenn der Integralwert den Sollwert erreicht oder übersteigt.

Aus DE 195 26 435 A1 ist eine Schaltungsanordnung zur Fehlerstromerkennung bekannt, bei der eine Stromquelle für einen maximal zulässigen Fehlerstrom beziehungsweise Leckstrom ausgelegt ist. Zur Fehlererkennung wird mit Hilfe von einem Komparator ein Spannungswert mit vorgegebenen Schwellwerten  $U_{max}$  und  $U_{min}$  verglichen und beim Erreichen der Schwellwerte ein Fehlerstromerkennungssignal abgegeben.

Aus DE 37 20 089 A1 ist eine Schaltungsanordnung zur Überwachung von Kurzschlüssen in einer Brückenendstufe einer Kraftfahrzeugelektronik bekannt, bei der die Spannung einer Betriebsspannungsquelle in einem Vergleicher mit Referenzwerten verglichen wird und das Ergebnis des Vergleichs von einer Kurzschlußerkennungslgik ausgewertet wird.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Diagnose eines kapazitiven Aktors und einer dazugehörigen Ansteuerschaltung bereitzustellen.

Die Aufgabe der Erfindung wird durch die im Patentanspruch 1 und Patentanspruch 19 genannten Merkmale gelöst.

Die Erfindung geht von der Überlegung aus, daß eine Ansteuerschaltung mit einem Ladekondensator und einer Umschwingungspule, die zusammen mit dem Aktor einen Serienschwingkreis bilden, bei Auftreten von aktortypischen Fehlern in einer vorausschbaren Weise reagiert. So wird aus einer am Aktor gemessenen Aktorspannung, eines durch den Aktor fließenden Aktorstroms oder einer auf den Aktor aufgetragenen Aktorladung durch Vergleichen mit vorgegebenen Referenzwerten auf den Funktionszustand des Aktors und der dazugehörigen Ansteuerschaltung geschlossen.

Weitere vorteilhafte Ausbildungen und Verbesserungen der Erfindung sind in den abhängigen Patentansprüchen angegeben.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der Figuren näher erläutert; es zeigen:

Fig. 1 Der Verlauf des Aktorstroms und der Aktorspannung in Abhängigkeit von Funktionszuständen,

Fig. 2 Der Verlauf des Aktorstroms und der Aktorspannung in Abhängigkeit von weiteren Funktionszuständen,

Fig. 3 Der Verlauf des Aktorstroms und der Aktorspannung in Abhängigkeit von weiteren Funktionszuständen,

Fig. 4 Der Verlauf des Aktorstroms mit der aufintegrierten Aktorladung in Abhängigkeit von von weiteren Funktionszuständen,

Fig. 5 Der Verlauf des Aktorstroms und der Aktorspannung in zwei aufeinanderfolgenden Ansteuervorgängen,

Fig. 6 eine Ansteuerschaltung mit einer Umladeschaltung, einem Steuergerät und Aktoren zur Durchführung des Verfahrens.

Ein Aktor Pm besteht aus mehreren übereinander angeordneten Piezoscheiben, die einen Piezostapel bilden. Die Piezoscheiben sind über vorzugsweise seitlich am Piezostapel angebrachten Kontaktflächen elektrisch miteinander verbunden. Der Aktor Pm läßt sich bei Angelegen einer Aktorspannung up.

Aktoren werden beispielsweise in Kraftstoffeinspritzventilen eingesetzt, um über ein Ventil den Einspritzvorgang in den Brennraum einer Brennkraftmaschine zu steuern. Für eine schadstoffarme Verbrennung und einen hohen Wirkungsgrad der Brennkraftmaschine ist eine Einspritzmenge mit geringer Abweichung von einer vorgebbaren Sollspritzmenge wichtig, was nur mit fehlerfreien Aktoren durchgeführt werden kann.

Zur Diagnose von Fehlern im Aktor Pm oder in dessen Zuleitungen wird aus den gemessenen Werten der Aktorspannung up und des Aktorstroms ip auf den Funktionszustand des Aktors Pm und der dazugehörigen Ansteuerschaltung geschlossen. Folgende Funktionszustände können auftreten:

- Der Aktor Pm und dessen Zuleitungen des Aktors Pm weist keine Fehler auf (fehlerfreier Funktionszustand OK).

- Die Kontaktbahnen des Aktors P oder dessen Zuleitungen zur Ansteuerschaltung sind unterbrochen (Unterbrechung F10), so daß der Aktor Pm nicht ausgelenkt wird.

- Der Aktor Pm weist eine zu kleine Aktorkapazität auf (F11).

- Eine oder mehrere Kontaktbahnen im Aktor Pm werden während des Auslenkvorganges kurzzeitig unterbrochen (kurzzeitige Unterbrechung F2), wobei der Auslenkvorgang während einer Anstiegszeit t1 stattfindet. Dadurch wird die Energieübertragung auf den Aktor Pm kurzzeitig unterbrochen, wodurch sich die Auslenkung des Aktors Pm und somit der Einspritzbeginn verzögert, was zu einer Änderung der Einspritzmenge führt.

- Die elektrischen Verbindungen innerhalb des Aktors Pm oder zwischen der Ansteuerschaltung und dem Aktor Pm sind kurzgeschlossen (Kurzschluß F30). Ein Kurzschluß F30 kann im Aktor Pm, in dessen Zuleitungen oder in der Endstufe der Ansteuerschaltung auftreten. Der Aktor Pm wird nicht ausgelenkt.

Fig. 1 zeigt den zeitlichen Verlauf eines Ansteuersignals sta und verschiedene Spannungs- und Stromverläufe der an einem Aktor Pm gemessenen Aktorspannung up und des durch den Aktor Pm fließenden Aktorstroms ip in Abhängigkeit von verschiedenen Funktionszuständen. Zum Zeitpunkt T00 initiiert ein Ansteuersignal sta den Beginn eines Ansteuervorganges eines Aktors Pm. Während der Anstiegszeit t1 wird der Aktor Pm über eine in Fig. 6 beschriebene Ansteuerschaltung bis zum Zeitpunkt T01 aufgeladen, wodurch der Aktor ausgelenkt wird. Die Aktorspannung up steigt annähernd cosinusförmig und der Aktorstrom ip verläuft in einer annähernd sinusförmigen positiven Halbwelle. Nach Beenden des Aufladevorganges zum Zeitpunkt T01 wird während einer Haltezeit t2 die Aktorspannung up am Aktor Pm gehalten, wodurch der Aktor Pm in seiner ausgelenkten Position bleibt. Es fließt kein Aktorstrom ip. Am Ende der Haltezeit t2 zum Zeitpunkt T02 initiiert das An-

steuersignal sta das Ende des Ansteuervorgangs. Während der darauffolgenden Abfallzeit t3 wird der Aktor Pm entladen, wobei die Aktorspannung up annähernd cosinusförmig abfällt und der Aktorstrom ip in einer negativen Halbsinusform verläuft. Nach Ende der Abfallzeit t3 zum Zeitpunkt T03 ist der Aktor Pm entladen und in seine Ruheposition zurückgekehrt. Zum Zeitpunkt t02 signalisiert das Ansteuersignal sta das Ende des Ansteuervorganges.

Zur einfachere m Darstellung wurden in den Fig. 1 bis 4 die cosinusförmig ansteigenden und abfallenden Aktorspannungsverläufe annähernd linear steigend und fallend dargestellt.

Während der Anstiegszeit t1 erreicht der Aktorstrom ip im Aktorscheitelstrom Ips seinen Maximalwert.

Die Aktorspannungs- und Aktorstromverläufe in den Fig. 1 bis 5 sind typisch für Umladevorgänge in Abhängigkeit von verschiedenen Funktionszuständen, wobei dem in einer Umladeschaltung Us aus Fig. 6 gezeigten Aktor Pm eine Energie oder eine Ladung Qp übertragen wird. Der Aktor Pm wird über eine Umschwingpule Lk von einem Ladekondensator Cj aufgeladen. Der Ladekondensator Cj, die Umschwingpule Lk und der Aktor Pm bilden einen Serienschwingkreis Cj-Lk-Pm, wodurch beim Umladen die in den Fig. 1 bis 5 dargestellten Aktorspannungs- und Stromverläufe in Abhängigkeit von verschiedenen Funktionszuständen entstehen.

In Fig. 1 sind Aktorspannungs- und Aktorstromverläufe dargestellt, die den Funktionszuständen OK, F10 und F11 entsprechen, wobei auf einen fehlerfreien Funktionszustand OK angeschlossen wird, wenn die Aktorspannung up unter einem vorgegebenen oberen Spannungswert Upmax oder der Aktorstrom ip über einen vorgegebenen unteren Stromwert Ipm1n liegt. Die Aktorspannung up wird während der Anstiegszeit t1 oder vorzugsweise während der Haltezeit t2 gemessen. Der Aktorscheitelstrom Ips wird während der Anstiegszeit t1 durch einen Maximalwertbildner MAX gebildet, der während der Anstiegszeit t1 den Aktorstrom ip auswertet.

Überschreitet die Aktorspannung up den vorgegebenen oberen Spannungswert Upmax oder unterschreitet der Aktorscheitelstrom Ips den unteren Stromwert Ipm1n, so wird auf eine Unterbrechung F10 geschlossen. Überschreitet die Aktorspannung einen weiteren oberen Spannungswert Upmax1 oder unterschreitet der Aktorscheitelstrom Ips einen weiteren unteren Stromwert Ipm1n1, so wird auf eine zu kleine Aktorkapazität F11 geschlossen. Durch eine zu niedrige Aktorkapazität oder eine Unterbrechung entsteht am Aktor Pm durch den Serienschwingkreis Cjnk und Pm eine Spannungsüberhöhung, die mit einem reduzierten Aktorscheitelstrom Ips einhergeht, und die durch Vergleich mit den vorgegebenen Strom- und Spannungswerten Ipm1n, Ipm1n1, Upmax, Upmax1 ausgewertet werden.

Zum Ermitteln einer Unterbrechung F10 wird vorzugsweise der Aktorstrom ip ausgewertet, da die Differenz des Aktorstroms ip bei einem fehlerfreien Funktionszustand OK vom Aktorstrom ip bei einer Unterbrechnung F10 groß genug ist, um durch Wahl geeigneter Schwellwerte eine sichere Unterscheidung der Funktionszustände auch bei geringer Meßgenauigkeit zu ermöglichen.

In Fig. 2 sind Aktorspannungs- und Aktorstromverläufe dargestellt, die den fehlerfreien Funktionszuständen OK und dem Kurzschluß F30 im Aktor Pm entsprechen. Der Umladevorgang des Reihenschwingkreises Cj-Lk-Pm aus Fig. 6 bewirkt beim Kurzschluß F30 eine verringerte, unter einem vorgegebenen unteren Spannungswert Upmin liegenden Aktorspannung up und einen über einem vorgegebenen oberen Stromwert Ipm1n liegenden Aktorscheitelstrom Ips.

Aus dem Vergleich der Aktorspannung up oder des Ak-

torscheitelstroms Ips mit vorgegebenen unteren und oberen Spannungs- oder Stromschwellwerten Upmin, Upmax, Upmax1, Ipm1n, Ipm1n1 und Ipm1n wird somit auf die entsprechende Fehlerart geschlossen. Zur Ermittlung des Funktionszustandes reicht schon die Auswertung einer der Größen Aktorstrom ip, Aktorspannung up aus, es können aber auch beide Größen zur Auswertung herangezogen werden.

Zum Ermitteln eines Kurzschlusses F30 wird vorzugsweise die Aktorspannung up ausgewertet, da die Differenz der Aktorspannung up bei einem fehlerfreien Funktionszustand OK von der Aktorspannung up bei einem Kurzschluß F30 groß genug ist, um durch Wahl geeigneter Schwellwerte eine sichere Unterscheidung der Funktionszustände auch bei geringer Meßgenauigkeit zu ermöglichen.

Zum Ermitteln eines Kurzschlusses F10 oder einer Unterbrechung F10 wird vorzugsweise die Aktorspannung up und der Aktorstrom ip ausgewertet, da die Differenz des Aktorstroms ip bei einem fehlerfreien Funktionszustand OK vom Aktorstrom ip bei einer Unterbrechnung F10 und die Differenz der Aktorspannung up bei einem fehlerfreien Funktionszustand OK von der Aktorspannung up bei einem Kurzschluß F30 groß genug ist, um durch Wahl geeigneter Schwellwerte eine sichere Unterscheidung der Funktionszustände auch bei geringer Meßgenauigkeit zu ermöglichen.

Aus dem Spannungsverlauf der Aktorspannung up in Fig. 3, die während der Anstiegszeit t1 gemessen wird, wird auf eine kurzzeitige Unterbrechung F2 der Kontaktbahnen im Aktor Pm geschlossen, was zu einer Verzögerung in der Auslenkung des Aktors Pm und einem verzögerten Einspritzbeginn führt. Bei Auftreten dieses Fehlers bewirkt die kurzzeitige Unterbrechung während der Anstiegszeit t1 eine kurzzeitige Spannungsüberhöhung der Aktorspannung up in Form einer Aktorspitzenspannung Ups, die über einer vorgegebenen oberen Spitzenpannung Upsmax liegt. Durch die Induktivität der Umschwingpule Lk in der Umladeschaltung Us resultiert die Spannungsüberhöhung. Die Aktorspitzenpannung Ups wird in einem Spitzenwertgleichrichter SWG erfaßt und mit einer vorgegebenen oberen Spitzenpannung Upsmax verglichen und ausgewertet. Die kurzzeitige Unterbrechung kann während der Anstiegszeit t1 oder der Abfallzeit t3 auftreten, wodurch der Aktor verzögert ausgelenkt wird bzw. verzögert in seine Ruheposition zurückkehrt und sich somit Öffnen und Schließen des Einspritzventil verzögert.

In Fig. 4 wird die während des Umladevorgangs auf den Aktor Pm aufgebrachte Aktorladung Qp dargestellt, die dem Integral des Aktorstroms ip über die Anstiegszeit t1 entspricht und die mit einem unteren und einem oberen Ladungswert Qpmin, Qpmax verglichen und ausgewertet wird. Ein Überschreiten des oberen Ladungswertes Qpmax deutet auf einen Kurzschluß F3, ein Unterschreiten des unteren Ladungswertes Qpmin auf eine Unterbrechung F10. Eine genauere Auswertung der Fehlerarten ist durch die Einführung weiterer vorgegebener oberer und unterer Ladungswerte möglich, wie in den vorherigen Figuren äquivalent zu den Aktorstrom- und Aktorspannungsvergleichswerten beschrieben wurde.

In einer weiteren Ausbildungsform wird die Aktorladung Qp zum Ermitteln einer Unterbrechung F10 ausgewertet, da die Differenz der Aktorladung Qp bei einem fehlerfreien Funktionszustand OK von der Aktorladung Qp bei einer Unterbrechnung F10 groß genug ist, um durch Wahl geeigneter Schwellwerte eine sichere Unterscheidung der Funktionszustände auch bei geringer Meßgenauigkeit zu ermöglichen.

Der Funktionszustand und die Fehlerarten können durch Auswerten von einer oder mehrerer der drei Größen Aktorspannung up, Aktorstrom ip und Aktorladung Qp ermittelt

werden.

Aktoren weisen eine geringe Bauteiletoleranz von etwa 5% der Aktorkapazität auf. In aufeinanderfolgenden Ansteuervorgängen werden Aktorspannungs-, Aktorstrom- oder Aktorladungswerte  $u_p$ ,  $i_p$ ,  $Q_p$  mehrerer Aktoren  $P_m$ ,  $P_m + 1, \dots$  erfaßt und miteinander verglichen. In Fig. 5 sind die Aktorspannungs- und die Aktorstromabläufe  $u_p$ ,  $i_p$  zweier Aktoren  $P_1$  und  $P_2$  in aufeinanderfolgenden Ansteuervorgängen dargestellt. Anhand der Auswertung des gemessenen ersten und zweiten Spannungswertes  $U_{p1}$ ,  $U_{p2}$  in zwei aufeinanderfolgenden Ansteuervorgängen wird beispielhaft das Auswertverfahren erläutert: Die Spannungsabweichung  $\Delta u$  ist die Spannungsdifferenz zwischen den Spannungswerten  $U_{p1}$  und  $U_{p2}$  und liegt innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbandes, wenn ein fehlerfreier Funktionszustand OK vorliegt, und außerhalb, wenn ein Fehler vorliegt. Entsprechend obiger Ausführung wird die Stromabweichung  $\Delta i$  als Differenz zweier nacheinander gemessenen Stromwerte, dem ersten und dem zweiten Stromwert  $I_{p1}$ ,  $I_{p2}$ , gebildet und ausgewertet.

Da in der Praxis bei einer vorgegebenen Anzahl von Aktoren  $P_1$  bis  $P_m$  nur eine geringe Anzahl von Aktoren gleichzeitig ausfallen, ist es möglich, Vergleiche von hintereinander abfolgenden Messungen unterschiedlicher Aktoren zu bilden und über eine Mehrheitsentscheidung den fehlerhaften Aktor zu entdecken, wobei durch Auswerten der Spannungsabweichung  $\Delta u$  die Fehlerart feststellbar ist. Entsprechend kann der Aktorscheitelstrom  $I_{ps}$  oder die Aktorladung  $Q_p$  mehrerer Aktoren miteinander verglichen und zur Ermittlung des Funktionszustandes ausgewertet werden.

Die Aktorkapazität ist abhängig von der Aktortemperatur  $T_p$ . Zur Kompensation dieser Abhängigkeit werden die vorgegebenen Spannungs-, Strom- und Ladungswerte  $U_{pmax}$ ,  $U_{pmax1}$ ,  $U_{pmin}$ ,  $U_{pmaxp}$ ,  $I_{pmin}$ ,  $I_{pmin1}$ ,  $I_{pmax}$ ,  $Q_{pmin}$ ,  $Q_{pmax}$  in Abhängigkeit von der Aktortemperatur  $T_p$  angepaßt. Die Aktortemperatur  $T_p$  kann z. B. über einen oder mehrere Temperatursensoren ermittelt werden.

Fig. 6 zeigt die Anordnung zur Durchführung des Verfahrens zum Ansteuern und zur Diagnose eines Aktors  $P_m$  und einer dazugehörigen Ansteuerschaltung. Die Ansteuerschaltung zur Ansteuerung eines Aktors  $P_m$  weist eine Energiequelle  $V$  auf, die einen oder mehrere Ladekondensatoren  $C_j$  mit Energie versorgt. Über eine oder mehrere Umschwindspulen  $L_k$  wird der auf eine vorgegebene Ladespannung aufgeladene Ladekondensator  $C_j$  auf einen Aktor  $P_m$  umgeladen. Die Umschwindung weist Dioden  $D_1$  und Umladeschalter  $X_i$  auf, die von einem Steuergerät  $ST$  derart angesteuert werden, daß der Aufladevorgang der Ladekondensatoren  $C_j$  aus der Energiequelle  $V$  und das Umladen einer vorgegebenen Energie oder einer vorgegebenen Ladung auf einen Aktor  $P_m$  durchgeführt wird. Jedem Aktor  $P_m$  ist ein Auswahlsschalter  $Y_m$  zugeordnet, wobei die Auswahlssignale  $A_m$  entsprechend der Reihenfolge der Einspritzvorgänge in der Brennkraftmaschine gesteuert werden.

Das Steuergerät  $ST$  kann Teil eines nicht näher dargestellten mikroprozessorgesteuerten Motorsteuergeräts sein.

Das Steuergerät  $ST$  wird von einer mikroprozessorgesteuerten Logikeinheit  $LU$  gesteuert. Dem Steuergerät  $ST$  werden folgende Eingangssignale zugeführt:

- Ein Ansteuersignal  $sta$ , das den Ansteuervorgang eines Aktors  $P_m$  auslöst und beendet,
- die gemessene Aktorspannung  $u_p$ ,
- den Aktorstrom  $i_p$ , der vorzugsweise über einen Meßwiderstand in der minuspoleseitigen Leitung zwischen Aktor  $P_m$  und Umsteuerschaltung  $Us$  gemessen wird,

- die Aktortemperatur  $T_p$ .

Das Steuergerät  $ST$  weist folgende Ausgangssignale auf:

- Steuersignale  $A_i$ , die die Umladeschalter  $X_i$  der Umladeschaltung  $Us$  ansteuern,
- Auswahlssignale  $A_m$ , die die Auswahlsschalter  $Y_m$  zur Auswahl eines Aktors  $P_m$  ansteuern,
- ein Funktionssignal  $F_s$ , das den Funktionszustand ausgibt, vorzugsweise an das externe Motorsteuergerät, das eine Reaktion auf den Fehler einleitet.

Das Steuergerät  $ST$  weist folgende Komponenten auf:

- Eine Logikeinheit  $LU$ , die die Ausgangssignale  $A_i$ ,  $A_m$ ,  $F_s$  ausgibt, wobei das Funktionssignal  $F_s$  vorzugsweise dem externen Motorsteuergerät zur weiteren Fehlerbehandlung zugeführt wird,
- ein Spannungskomparator  $K_1$ , der die Aktorspannung  $u_p$  mit den vorgegebenen oberen und unteren Spannungswerten  $U_{pmin}$ ,  $U_{pmax}$ ,  $U_{pmax1}$  vergleicht und das Ergebnis des Vergleichs an die Logikeinheit  $LU$  weitergibt,
- einen Spitzenwertkomparator  $K_3$ , der die Aktorspitzenspannung  $U_{ps}$  mit einer vorgegebenen, oberen Spitzenspannung  $U_{psmax}$  vergleicht und das Ergebnis an die Logikeinheit  $LU$  weitergibt, wobei die Aktorspitzenspannung  $U_{ps}$  mit einem Spitzenwertgleichrichter  $SWG$  aus der Aktorspannung  $u_p$  ermittelt wird,
- einen A/D-Wandler, der die eingehende Aktorspannung  $u_p$  in digitale Werte umwandelt und sie zur Logikeinheit  $LU$  weiterleitet. Der A/D-Wandler dient dazu, der Logikeinheit  $LU$  die Aktorspannung  $u_p$  während der Haltezeit  $t_2$  zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung zu stellen. Mit den damit ermittelten Aktorspannungswerten  $u_p$  ist eine verfeinerte Differenzierung und Unterscheidung der Fehlerarten möglich. Der Einsatz eines D/A-Wandlers kann vorteilhaft den Hardwareaufwand durch Einsparen von Komparatoren reduzieren, wobei der Vergleich digital als Teil des Programmablaufes in der Logikeinheit  $LU$  stattfinden kann. Weiterhin ist durch Einführen weiterer vorgegebener Schwellwerte vorteilhaft eine verfeinerte Differenzierung nach weiteren Fehlerarten möglich,
- ein Stromkomparator  $K_2$ , der den eingehenden Aktorscheitelstrom  $I_{ps}$  mit den vorgegebenen unteren und oberen Stromwerten  $I_{pmin}$ ,  $I_{pmax}$ ,  $I_{pmin1}$  vergleicht, wobei der Aktorscheitelstrom  $I_{ps}$  durch den Maximalwertbildner  $MAX$  aus dem Aktorstrom  $I_p$  erzeugt wird. Das Ergebnis des Vergleichs wird der Logikeinheit  $LU$  zugeführt,
- ein Ladungskomparator  $K_4$ , der die dem Aktor  $P_m$  zugeführte Aktorladung  $Q_p$  mit einem vorgegebenen oberen und unteren Ladungswert  $Q_{pmax}$ ,  $Q_{pmin}$  vergleicht, wobei ein Integrierer  $INT$  das Integral des Aktorstroms  $i_p$  über die Zeit  $t$ , vorzugsweise über die Anstiegszeit  $t_1$ , bildet. Das Ergebnis des Vergleichs wird der Logikeinheit  $LU$  zugeführt. Dieser Schaltungszweig kann den Schaltungszweig mit dem Maximalwertbildner  $MAX$  ersetzen, in dem der Aktorscheitelstrom  $I_{ps}$  ermittelt wird.
- einem Konstantenspeicher  $KF$ , der den Komparatoren  $K_1$  bis  $K_4$  vorgegebene Vergleichswerte zu führt.

In einer weiteren Ausführungsform stellt ein A/D-Wandler der Logikeinheit  $LU$  die Aktorladung  $Q_p$  oder den Aktorscheitelstrom  $I_{ps}$  in digitalisierter Form zur Verfügung. Dadurch wird vorteilhaft eine Feinauswertung der Fehlerarten

F10, F11 und F30 ermöglicht.

Die Logikeinheit LU gibt Ansteuersignale Am, die die Auswahlhalter Ym zur Auswahl eines Aktors Pm steuern, und Steuersignale Ai an die Umladeschaltung Us aus, mit denen über die Umladeschalter Xi der Verlauf der Ansteuerung eines Aktors Pm gesteuert wird.

Das Funktionssignal Fs gibt den Funktionszustand an die externe Motorsteuereinheit aus. Das Einleiten einer Reaktion auf einen Fehler kann wahlweise in der externen Motorsteuereinheit oder in der Logikeinheit LU des Steuergerätes ST durchgeführt werden. Ein Reaktion kann z. B. darin bestehen, nach Auftreten einer Fehlerart den als fehlerhaft erkannten Aktor Pm und den betreffenden Zylinder abzuschalten, d. h. keine Ansteuerimpulse an den betreffenden fehlerhaften Aktor Pm auszugeben. Dadurch ist vorteilhaft ein eingeschränktes Funktionieren der Brennkraftmaschine trotz vorhandenen Defektes möglich, um z. B. das Fahrzeug bis zur nächsten Werkstatt zu fahren.

Eine fehlertolerante Reaktion auf sporadisch auftretende oder durch Störimpulse verfälschte Meßergebnisse ist möglich, indem erst nach Auftreten von mehr als einer vorgegebenen Anzahl von Fehlern einer Fehlerart innerhalb einer vorgegebenen Fehlerzeit eine Reaktion eingeleitet wird. Dadurch wird die Wirkung äußerer Störeinflüsse vorteilhaft verringert. Die Anzahl der irrtümlich oder kurzzeitig aufgetretenen Fehler kann zusätzlich in der Logikeinheit LU gespeichert werden, um z. B. beim nächsten Werkstattaufenthalt ausgewertet zu werden.

Bei sehr kurzen Einspritzzeiten, wie sie z. B. im Kraftstoffeinspritzventil bei einer Piloteinspritzung mit nachfolgender Haupteinspritzung auftreten können, kann die Haltezeit  $t_2$  gegen Null gehen. Durch Anpassen der vorgegebenen Spannungs-, Strom- und Ladungswerte Upmax, Upmax1, Upmin, Upmaxp, Ipmmin, Ipmmax, Qpmin, Qpmax können dynamische Rückwirkungen von der Mechanik auf den Aktor Pm vorteilhaft kompensiert werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Diagnose eines kapazitiven Aktors (Pm) und einer dazugehörigen Ansteuerschaltung, wobei auf den Aktor (Pm) von einem Ladekondensator (Cj) über eine Umschwingspule (Lk) eine vorgebbare Energie übertragen wird, aus der Abweichung der ermittelten Größen
  - Aktorspannung (up) und
  - Aktorstrom (ip)
 von Bezugswerten (Upmin, Upmax, Upmax1, Upmaxp, Ipmmin, Ipmmax, Qpmin, Qpmax) auf den Funktionszustand (OK, F10, F11, F2, F31) des Aktors (Pm) oder der dazugehörigen Ansteuerschaltung geschlossen wird,
  - bei einer den unteren Spannungswert (Upmin) unterschreitenden Aktorspannung (up) auf einen Kurzschluß (F30) der elektrischen Verbindung innerhalb des Aktors (Pm) oder zwischen der Ansteuerschaltung und dem Aktor (Pm) geschlossen wird, und
  - bei einem einen weiteren unteren Stromwert (Ipmmin) unterschreitenden Aktorstrom (ip) auf eine Unterbrechung (F10) der elektrischen Verbindung innerhalb des Aktors (Pm) oder zwischen der Ansteuerschaltung und dem Aktor (Pm) geschlossen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer zwischen einem unteren Spannungswert (Upmin) und einem oberen Spannungswert (Upmax) liegenden Aktorspannung (up) auf einen fehlerfreien Funktionszustand (OK) geschlossen wird.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche

che, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer den oberen Spannungswert (Upmax) überschreitenden Aktorspannung (up) auf eine zu geringe Aktorkapazität (F11) geschlossen wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer einen weiteren oberen Spannungswert (Upmax1) überschreitenden Aktorspannung (up) auf eine Unterbrechung (F10) der elektrischen Verbindung innerhalb des Aktors (Pm) oder zwischen der Ansteuerschaltung und dem Aktor (Pm) geschlossen wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Aktorspannung (up) während einer Haltezeit ( $t_2$ ) gemessen wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß während einer Anstiegszeit ( $t_1$ ) die Aktorspannung (up) gemessen wird, und

daß bei einer eine obere Spitzenspannung (Upmaxp) überschreitenden Aktorspannung (up) auf eine kurzzeitige Unterbrechung (F2) der elektrischen Verbindung innerhalb des Aktors (Pm) während des Auslenkvorgangs des Aktors (Pm) geschlossen wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß während der Anstiegszeit ( $t_1$ ) der Aktorstrom (ip) als Maximalwert des Aktorstroms (ip) ermittelt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem zwischen einem unterem Stromwert (Ipmmin) und einem oberen Stromwert (Ipmmax) liegenden Aktorstrom (ip) auf einen korrekten Funktionszustand (OK) geschlossen wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem den unteren Stromwert (Ipmmin) unterschreitenden Aktorstrom (ip) auf eine zu geringe Aktorkapazität (F11) geschlossen wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem den oberen Stromwert (Ipmmax) überschreitenden Aktorstrom (ip) auf einen Kurzschluß (F30) der elektrischen Verbindung innerhalb des Aktors (Pm) oder zwischen der Ansteuerschaltung und dem Aktor (Pm) geschlossen wird.

11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine auf den Aktor übertragene Aktorladung (Qp) während einer Anstiegszeit ( $t_1$ ) von einem Ladekondensator (C) auf den Aktor (Pm) ermittelt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 11, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer zwischen einem unterem Ladungswert (Qpmin) und einem oberen Ladungswert (Qpmax) liegenden Aktorladung (Qp) auf einen korrekten Funktionszustand (OK) geschlossen wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer den unteren Ladungswert (Qpmin) unterschreitenden Aktorladung (Qp) auf eine zu geringe Aktorkapazität (F11) geschlossen wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer einen weiteren unteren Ladungswert (Qpmin1) unterschreitenden Aktorladung (Qp) auf eine Unterbrechung (F10) der elektrischen Verbindung innerhalb des Aktors (Pm) oder zwischen der Ansteuerschaltung und dem Aktor (Pm) geschlossen wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer den oberen La-

dungswert ( $Q_{pmax}$ ) überschreitenden Aktorladung ( $Q_p$ ) auf einen einen Kurzschluß (F30) der elektrischen Verbindung innerhalb des Aktors ( $P_m$ ) oder zwischen der Ansteuerschaltung und dem Aktor ( $P_m$ ) geschlossen wird.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Bezugswerte ( $U_{pmin}$ ,  $U_{pmax}$ ,  $U_{pmax1}$ ,  $U_{pmaxp}$ ,  $I_{pmin}$ ,  $I_{pmax}$ ,  $I_{pmin1}$ ,  $Q_{min}$ ,  $Q_{max}$ ) von der Aktortemperatur ( $T_p$ ) abhängig sind.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß nach Auftreten von mehr als einer vorgegebenen Anzahl von Fehlern einer Fehlerart (F10, F11, F2, F20, F30, F31) innerhalb einer vorgegebenen Fehlerzeit eine Reaktion auf den Fehler eingeleitet wird.

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Abweichung ( $dau$ ,  $dai$ ) der ermittelten Werte der Aktorspannung ( $up$ ), des Aktorstroms ( $ip$ ) oder der Aktorladung ( $Q_p$ ) eines Aktors ( $P_m$ ) in einem Ansteuervorgang von den Werten eines Aktors ( $P(m+1)$ ) in einem nachfolgenden Ansteuervorgang ermittelt wird, und

daß bei Überschreiten der Abweichung ( $dau$ ,  $dai$ ) von einem vorgegebenen Toleranzband auf einen Fehler geschlossen wird.

19. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Ansteuerschaltung zur Ansteuerung eines Aktors ( $P_m$ ) aufweist:

- eine Energiequelle ( $V$ ),
- eine Umladeschaltung ( $U_s$ ) mit
- einem oder mehreren Ladekondensatoren ( $C_j$ ),
- einer oder mehreren Umschwingspulen ( $L_k$ ),
- Umladeschaltern ( $X_i$ ),
- Dioden ( $D_l$ ),
- Auswahlshaltern ( $Y_m$ ),
- Aktoren ( $P_m$ ),
- ein mikroprozessorgesteuertes Steuergerät (ST) das die Arbeitsschritte des Verfahrens zur Diagnose eines kapazitiven Aktors ( $P_m$ ) durchführt und folgende Eingangssignale aufweist:
- ein Ansteuersignal ( $sta$ ), das den Ansteuervorgang eines Aktors ( $P_m$ ) steuert,
- die Aktorspannung ( $up$ ) oder den Aktorstrom ( $ip$ ) und
- die Aktortemperatur ( $T_p$ ), folgende Ausgangssignale aufweist:
- Steuersignale ( $A_i$ ), die die Umladeschalter ( $X_i$ ) der Umladeschaltung ( $U_s$ ) ansteuern,
- Auswahlssignale ( $A_m$ ), die die Auswahlshaltern ( $Y_m$ ) zur Auswahl eines Aktors ( $P_m$ ) ansteuern,
- ein Funktionssignal ( $F_s$ ), das den Funktionszustand ausgibt, und folgende Komponenten aufweist:
- eine Logikeinheit (LU), die mit den Ausgangssignalen ( $A_i$ ,  $A_m$ ) die Umladeschalter ( $X_i$ ) und die Auswahlshaltern ( $Y_m$ ) ansteuert,
- Komparatoren ( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_4$ ), die die Eingangssignale ( $up$ ,  $ip$ ) mit den Bezugswerten ( $U_{pmin}$ ,  $U_{pmax}$ ,  $U_{pmax1}$ ,  $U_{pmaxp}$ ,  $I_{pmin}$ ,  $I_{pmax}$ ,  $I_{pmin1}$ ,  $Q_{min}$ ,  $Q_{max}$ ) vergleichen, und deren Ausgangssignale in die Logikeinheit (LU) eingehen,
- einen Konstantenspeicher (KS), der den Komparatoren ( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_4$ ) Bezugswerte ( $U_{pmin}$ ,  $U_{pmax}$ ,  $U_{pmax1}$ ,  $U_{pmaxp}$ ,  $I_{pmin}$ ,  $I_{pmax}$ ,  $I_{pmin1}$ ,  $Q_{min}$ ,  $Q_{max}$ ) liefert.

$min1$ ,  $Q_{min}$ ,  $Q_{max}$ ) liefert.

20. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuergerät (ST) einen Analog-Digital-Wandler (A/D) aufweist, dem die Aktorspannung ( $up$ ) zugeführt wird und der die digitalisierten Werte der Aktorspannung ( $up$ ) an die nachfolgende Logikeinheit (LU) ausgibt.

21. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuergerät (ST) einen Spitzenwertkomparator ( $K_3$ ) aufweist, der eine Aktorspitzenspannung ( $Ups$ ) mit einer vorgegebenen oberen Spitzenpannung ( $Upsmax$ ) vergleicht und das Vergleichsergebnis an die Logikeinheit (LU) ausgibt, wobei ein Spitzenwertgleichrichter (SWG) aus der eingehenden Aktorspannung ( $up$ ) die Aktorspitzenpannung ( $Ups$ ) ermittelt.

22. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 19 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuergerät (ST) einen Spannungskomparator ( $K_1$ ) aufweist, der die Aktorspannung ( $up$ ) mit vorgegebenen Spannungswerten,

- den unteren Spannungswerten ( $U_{pmin}$ ) und
- den oberen Spannungswerten ( $U_{pmax}$ ,  $U_{pmax1}$ ), vergleicht und das Vergleichsergebnis an die Logikeinheit (LU) ausgibt.

23. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 19 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuergerät (ST) einen Stromkomparator ( $K_2$ ) aufweist, der den Aktorscheitelstrom ( $Ips$ ) mit den vorgegebenen unteren Stromwerten ( $I_{pmin}$ ,  $I_{pmin1}$ ) und dem oberen Stromwert ( $I_{pmax}$ ) vergleicht und das Vergleichsergebnis an die Logikeinheit (LU) ausgibt, wobei ein Maximalwertbildner (MAX) aus dem eingehenden Aktorstrom ( $ip$ ) den Aktorscheitelstrom ( $Ips$ ) ermittelt.

24. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 19 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuergerät (ST) einen Ladungskomparator ( $K_4$ ) aufweist, der die auf den Aktor ( $P_m$ ) übertragene Ladung ( $Q_p$ ) mit vorgegebenen Ladungswerten,

- dem unteren Ladungswert ( $Q_{pmin}$ ) und
- dem oberen Ladungswert ( $Q_{pmax}$ ), vergleicht und das Vergleichsergebnis an die Logikeinheit (LU) ausgibt, wobei ein Integrierer (INT) aus der Integration des eingehenden Aktorstroms ( $ip$ ) über die Zeit ( $t$ ) die Aktorladung ( $Q_p$ ) ermittelt.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

FIG 1

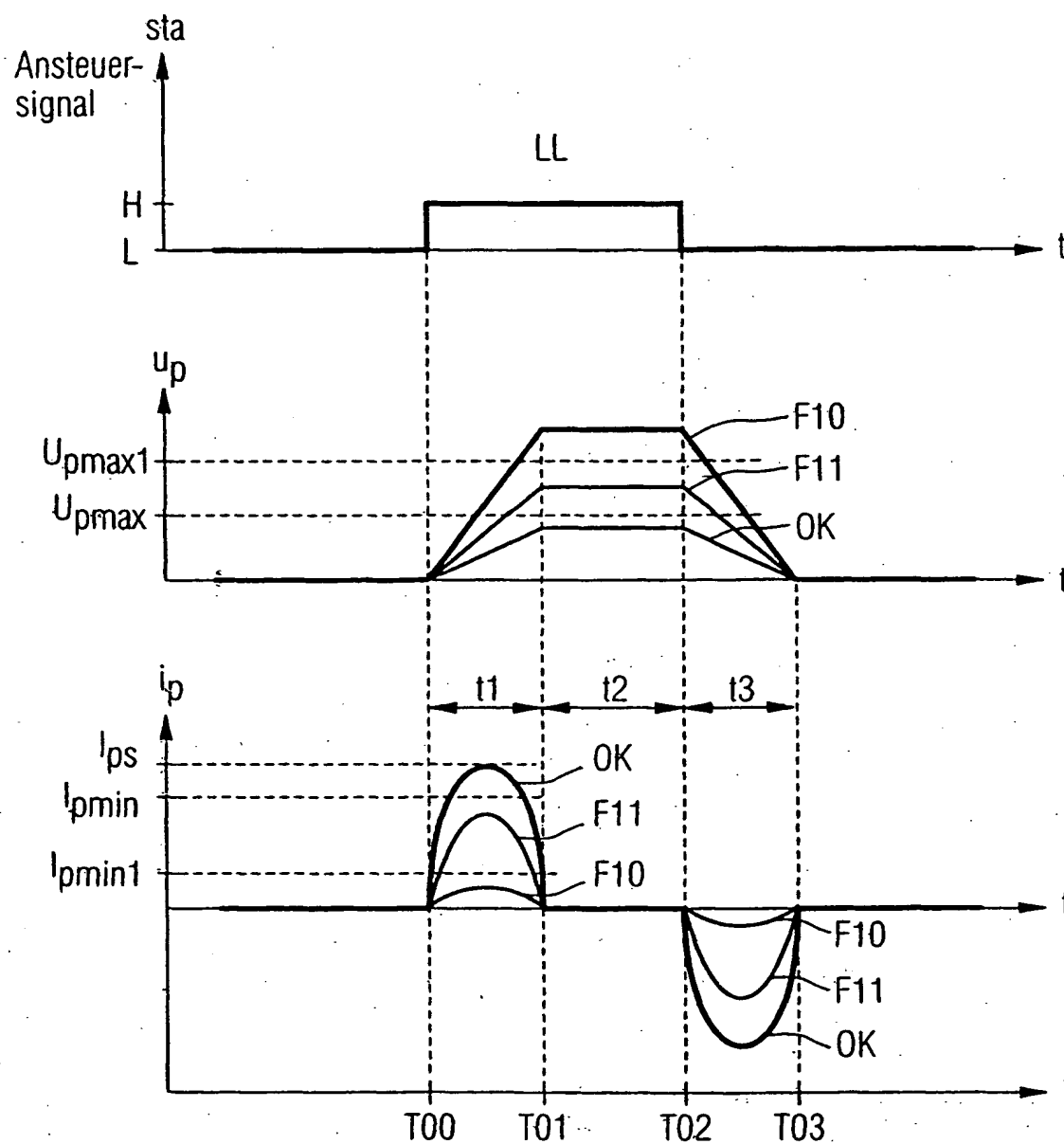


FIG 2

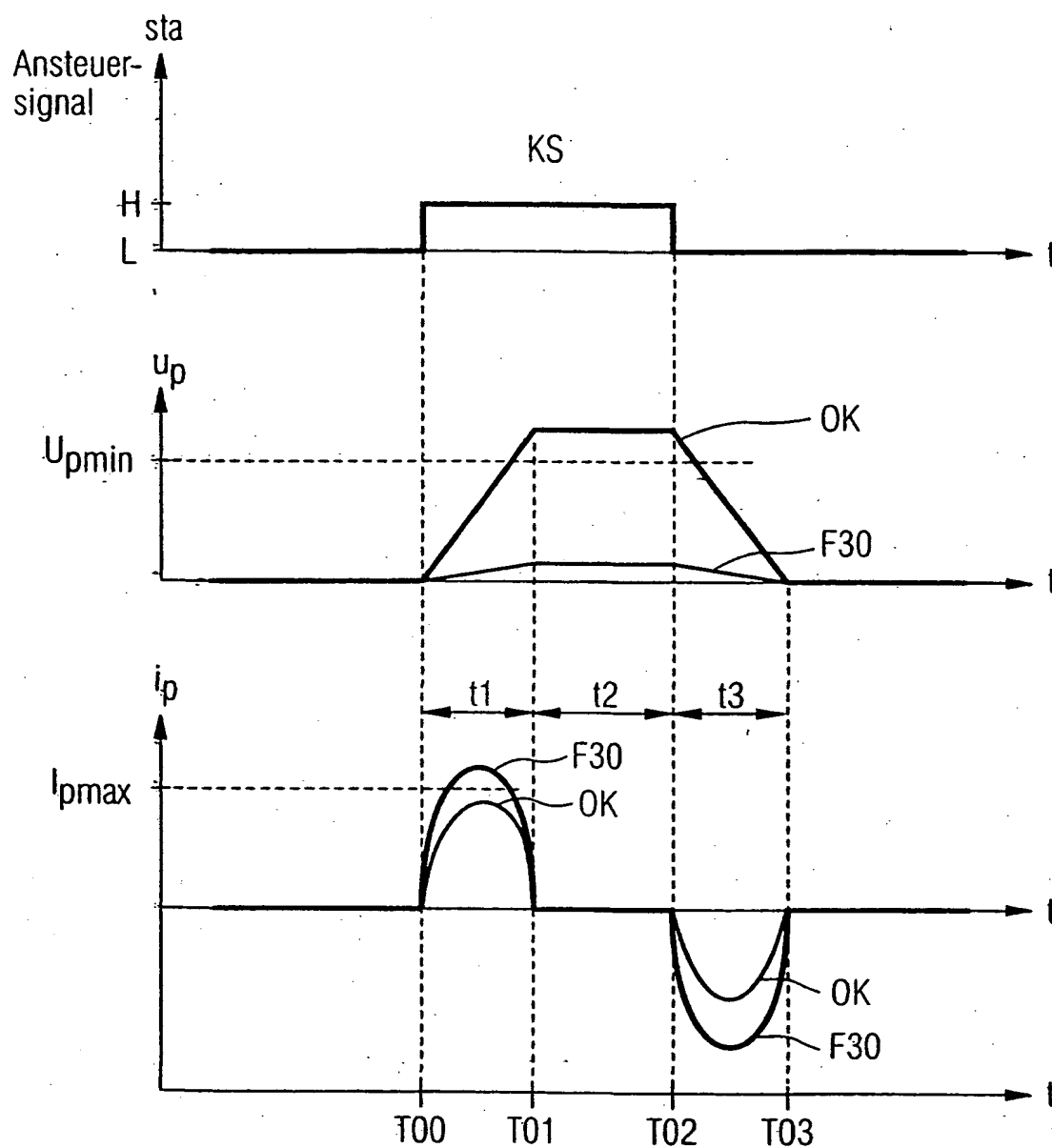




FIG 3

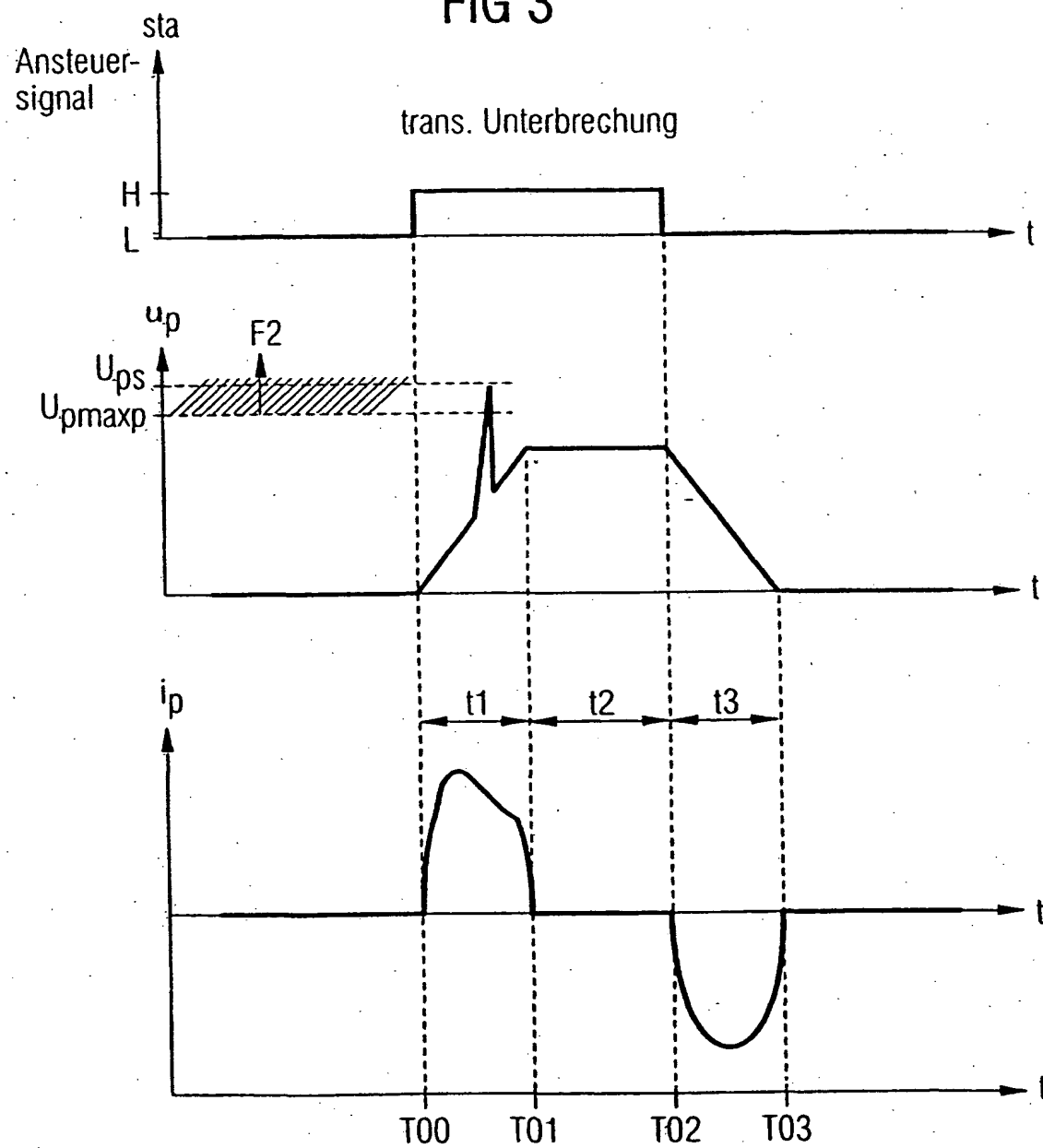
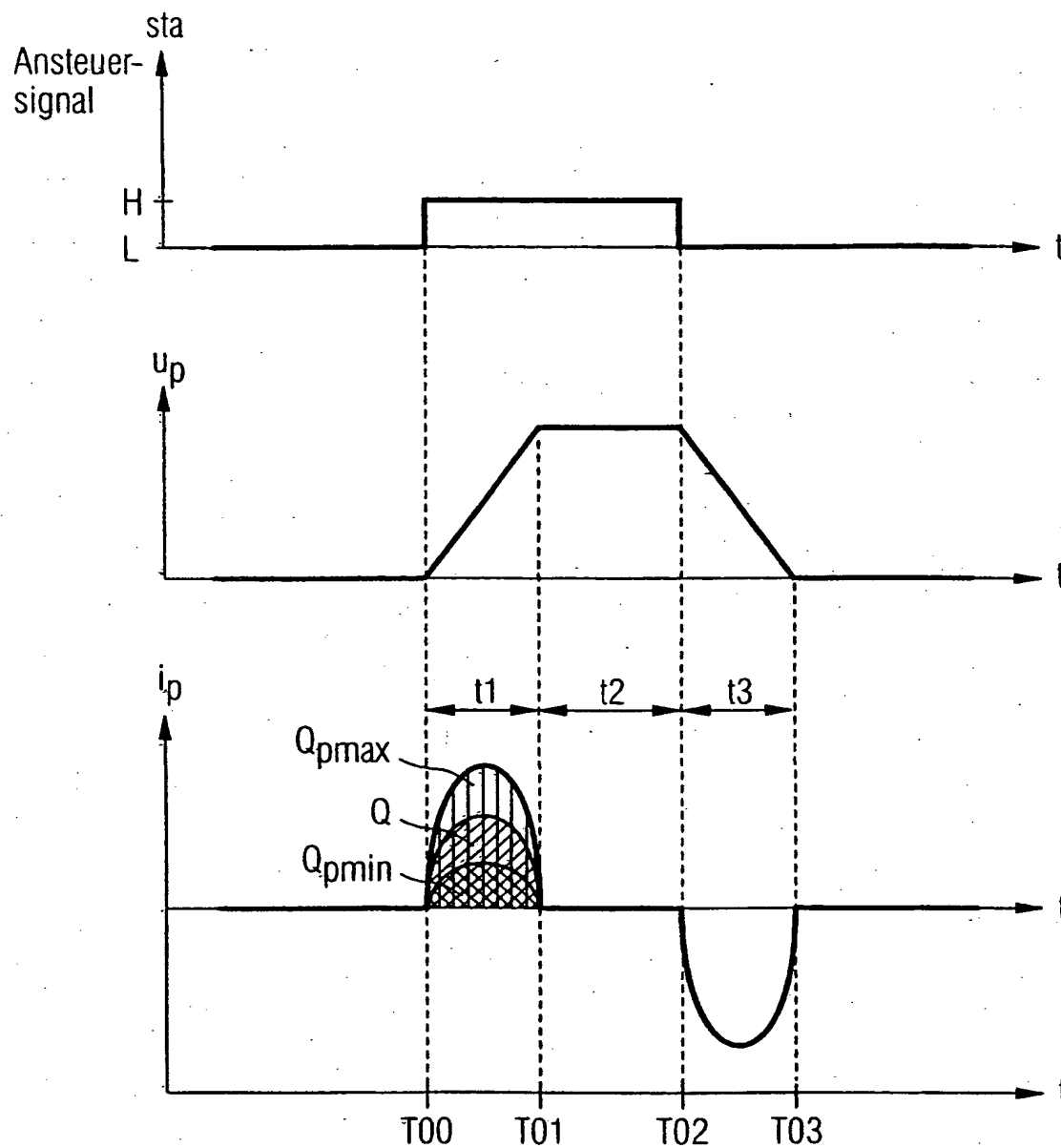


FIG 4



$Q_p > Q_{pmax} : \equiv F30$   
 $Q_p < Q_{pmin} : \equiv F11$   
 $Q_p < Q_{pmin1} : \equiv F10$

FIG 5

